

土壌調整剤は各区画に 25 kg全層施肥を施した。

- ・粒状苦土石灰 100 kg/10a (アルカリ分 54.0% 可溶性苦土 15.0%)

試験区は、対照区を化学肥料区とし、栽培管理は標準耕種法とし、防除、除草は適時行った。収穫調査は、両側 1 株を調査から除き (対象: 8 畦 8 株)、平成 11 年 10 月 10 日~平成 11 年 11 月 21 日の区画ごとの収量と植物体全量を調査した。

4. 3 結果

4. 3. 1 白菜栽培結果

1999 年 12 月 17 日~2000 年 1 月 16 日までに収穫した白菜の収量の結果とグラフを以下に示す。なお、無双・金将 2 号については試験区全体にべト病が大発生し、実験を中断する事に至った。

生重量: (無双)	セル苗区: 362.8 kg/46.2m ²	: 7,852.8 kg/10a
	ポリ鉢区: 293.7 kg/46.2m ²	: 6,357.1 kg/10a
	成型鉢区: 261.2 kg/46.2m ²	: 5,653.7 kg/10a

生重量: (金将 2 号)	セル苗区: 338.3 kg/46.2m ²	: 7,322.5 kg/10a
	ポリ鉢区: 329.2 kg/46.2m ²	: 7,125.5 kg/10a
	成型鉢区: 341.7 kg/46.2m ²	: 7,396.1 kg/10a

生重量: (大福 85)	セル苗区: 333.5 kg/46.2m ²	: 7,218.6 kg/10a
	ポリ鉢区: 314.4 kg/46.2m ²	: 6,805.2 kg/10a
	成型鉢区: 424.14 kg/46.2m ²	: 9,180.5 kg/10a

無双区

セル苗区の利益は、12,093 円 (3 kg で 100 円) - 3,300 円 (肥料代) - 2,000 円 (農業代) - 3,783 円 (労働費, 時給 850 円換算) = 3,010 だった。

よって 10 a 当り 65,152 円となった。

ポリ鉢区の利益は、9,790 円 (3 kg で 100 円) - 3,300 円 (肥料代) - 2,000 円 (農業代) - 4,803 円 (労働費, 時給 850 円換算) = -313 円だった。

よって 10 a 当り -6,775 円となった。

成型鉢区の利益は、8,707 円 (3 kg で 100 円) - 3,300 円 (肥料代) - 2,000 円 (農業代) - 4,883 円 (労働費, 時給 850 円換算) = -1,476 円だった。

よって 10 a 当り -31,948 円となった。

金将2号区

セル苗区の利益は、 $11,277 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 3,783 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = 2,194 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り47,489円となった。

ポリ鉢区の利益は、 $10,973 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 4,803 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = 834 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り18,052円となった。

成型鉢区の利益は、 $11,390 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 4,883 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = -1,207 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り-26,126円となった。

大福85

セル苗区の利益は、 $11,117 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 3,783 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = 2,034 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り44,026円となった。

ポリ鉢区の利益は、 $10,480 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 4,803 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = 377 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り8,160円となった。

成型鉢区の利益は、 $14,138 \text{ 円} (3 \text{ kgで } 100 \text{ 円}) - 3,300 \text{ 円} (\text{肥料代}) - 2,000 \text{ 円} (\text{農薬代}) - 4,883 \text{ 円} (\text{労働費, 時給 } 850 \text{ 円換算}) = 3,955 \text{ 円}$ だった。

よって10a当り85,606円となった。

全体として、大福85区の成型鉢区は、農業に導入したときの採算性が一番良いことが示された。この区はベト病の被害がなかったことから、正確なデータであると考えられる。

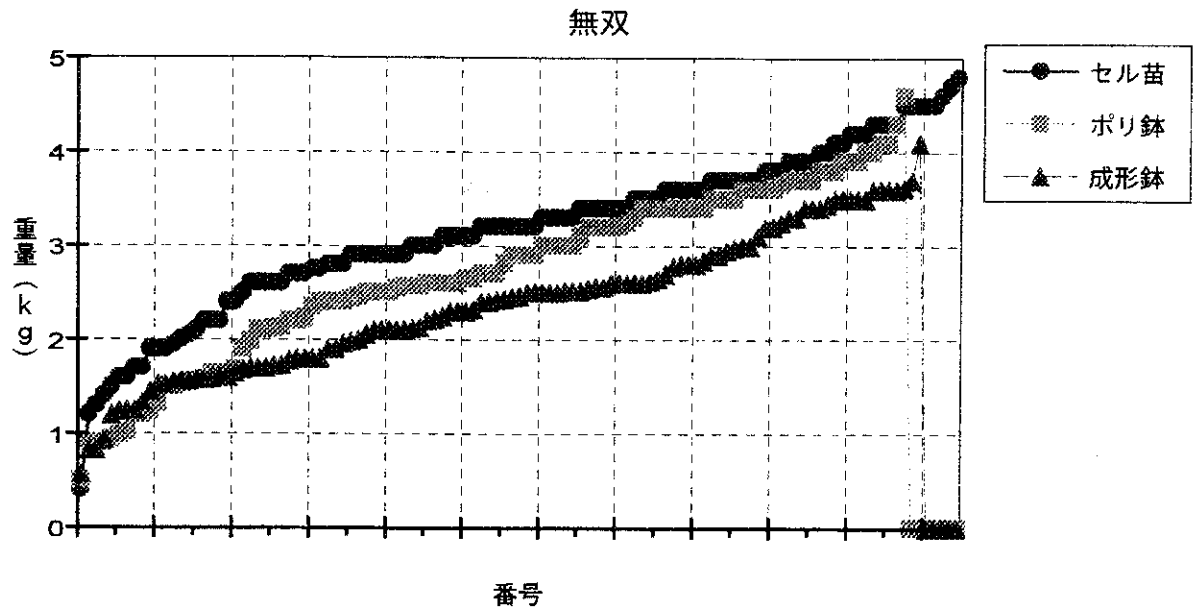


図4-4 無双区の重量の変動

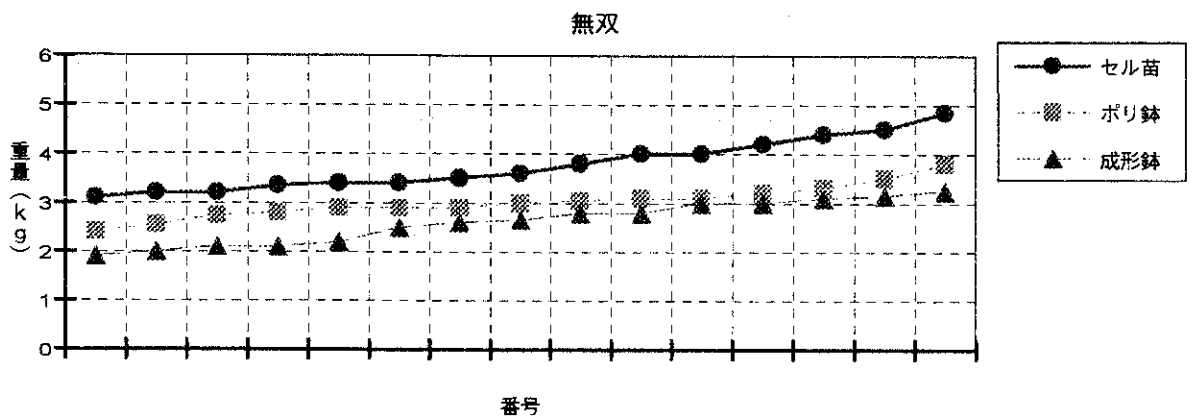


図4-5 無双区実験区の重量の変動

図4-4は、無双区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の全ての個体の重量をグラフ化したものである。

図4-5は、無双区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の中央に位置する15個体の重量をグラフ化したものである。

セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区で、どの区もばらつきが多くなった。

気温が高かったこと、病原が近かったこと、土壌調製材として入れたCa, Mg, の量が少なかったことなどの原因によりペト病にかかってしまった。ペト病の被害が少なかったセル苗区では、収穫重量のばらつきは多くなった。

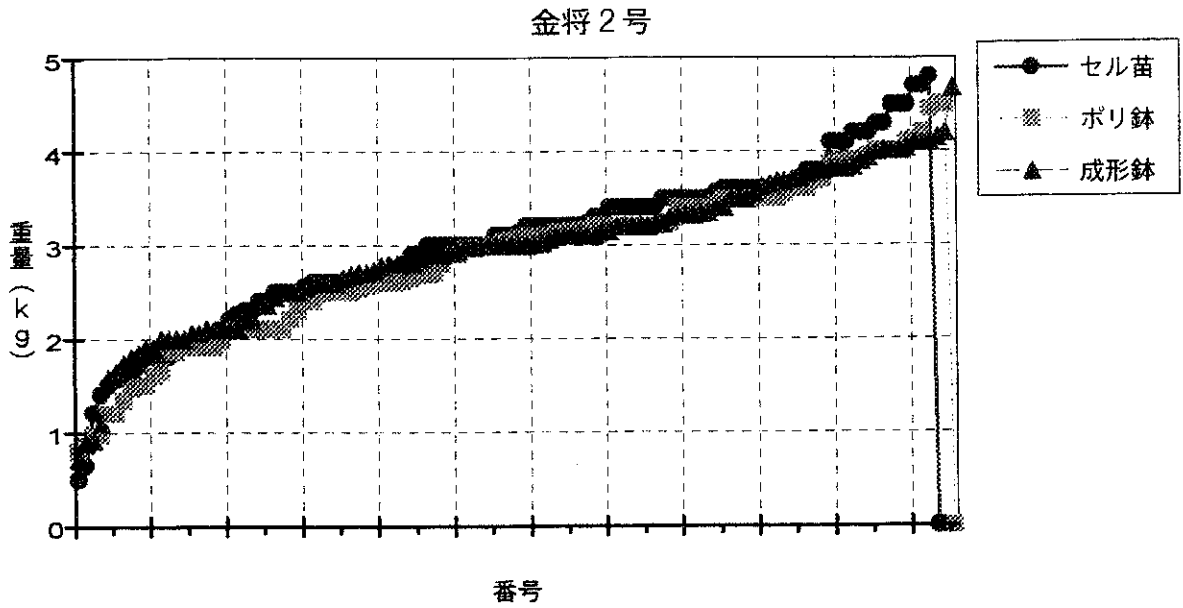


図4-6 金将2号区の重量の変動

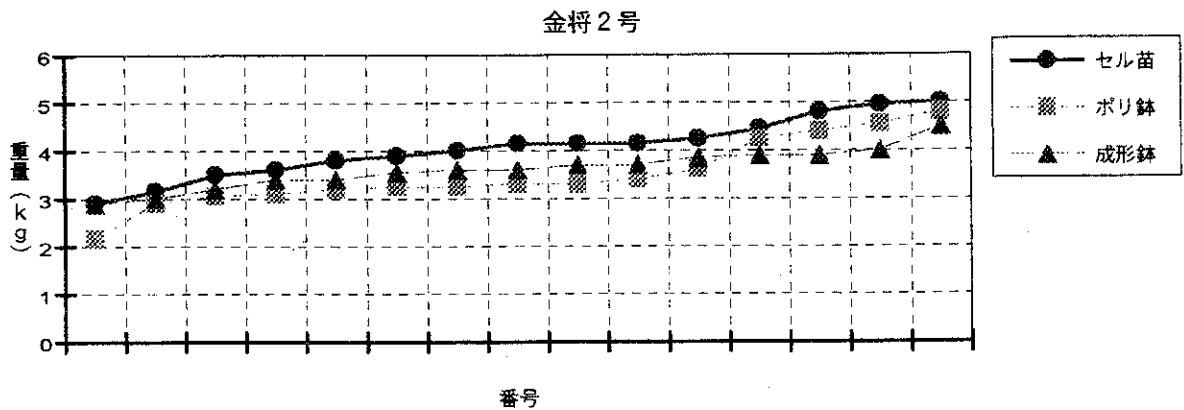


図4-7 金将2号実験区の重量の変動

図4-6は、金将2号区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の全ての個体の重量をグラフ化したものである。

図4-7は、金将2号区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の中央に位置する15個体の重量をグラフ化したものである。

セル苗区では、重量にばらつきが多くなった。ポリ鉢区でも、ばらつきが多くなった。成型区では、ばらつきが少なかった。結果としては、セル苗区の収穫重量がやや重く、セル苗区全体としてはばらつきが大きい。また、ポリ鉢区の収穫重量はやや小さく生育ムラがあることが示された。また、成型鉢はセル苗区よりもやや小さいが、生育のばらつきが少なかった。しかし、この区は一部にベト病の被害が発生し、全体の比較に支障が生じる結果となった。

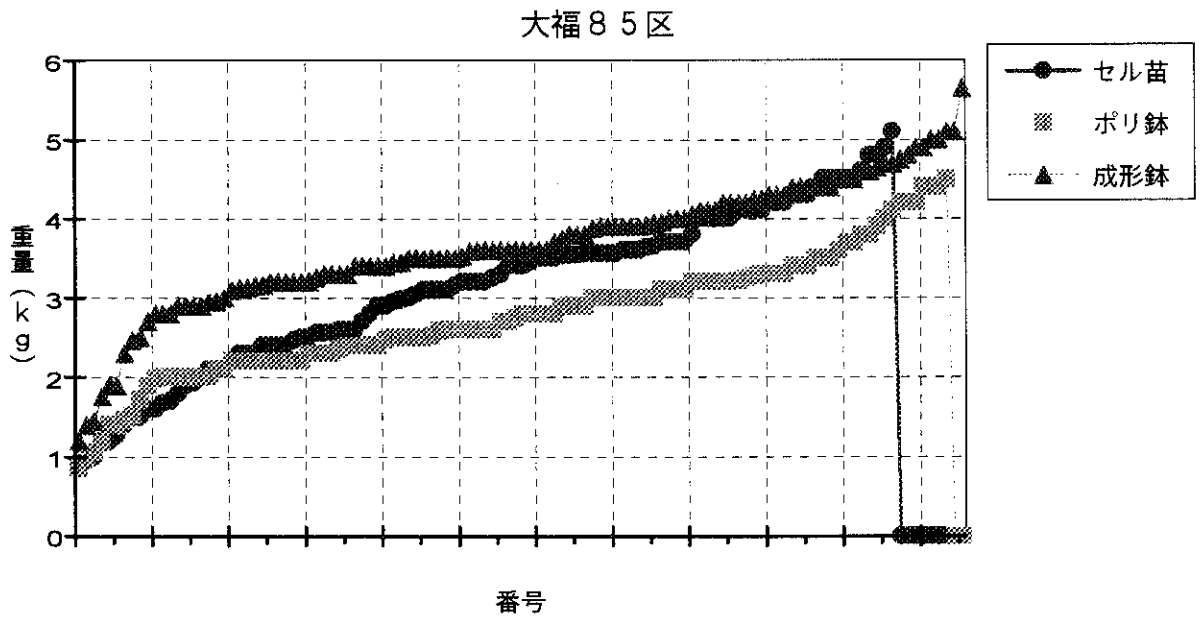


図4-8 大福85区の重量の変動

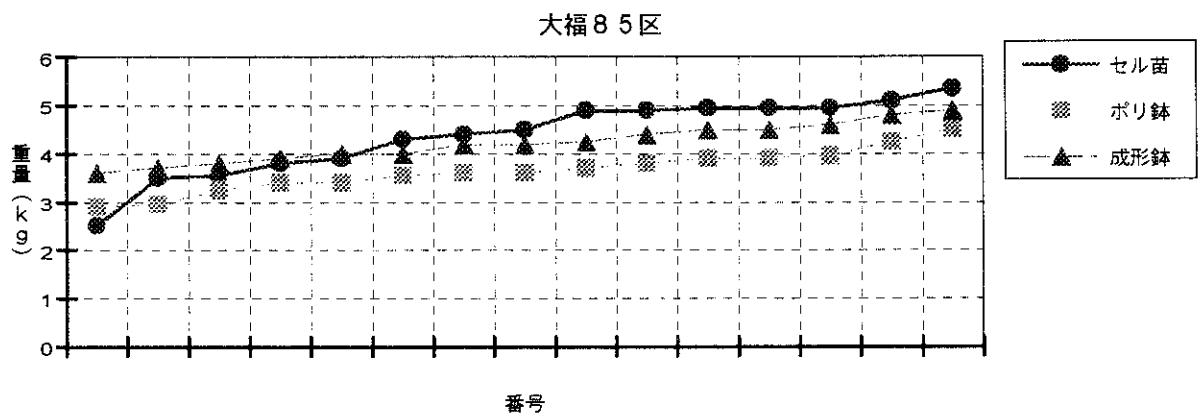


図4-9 大福85区の実験区の重量の変動

図4-8は、大福85区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の全ての重量をグラフ化したものである。

図4-9は、大福85区の各区画（セル苗区、ポリ鉢区、成型鉢区）の中央に位置する15個体の重量をグラフ化したものである。

セル苗区では、図4-8に示したように水平な部分が少ない結果となり、収穫物の品質面でのバランスが良くないことが示された。またポリ鉢区では成型鉢区と約1キロ程度の重量差が生じた。この結果は、セル苗、ポリ鉢、成型鉢それぞれの特徴を示したものと考えられ、根圏への有機物の施用が、品質安定に効果があることが示された。

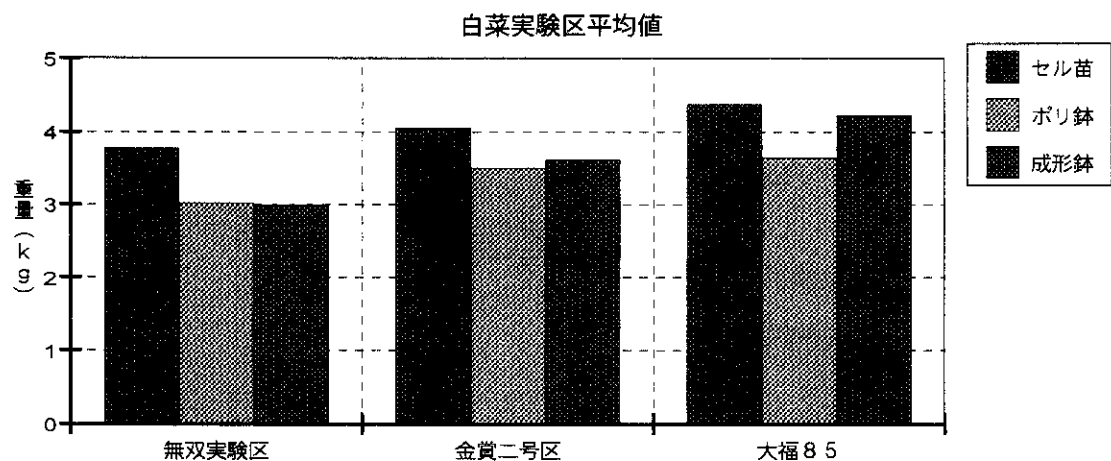


図4-10 無双区, 金将2号区, 大福85区の実験区の平均重量

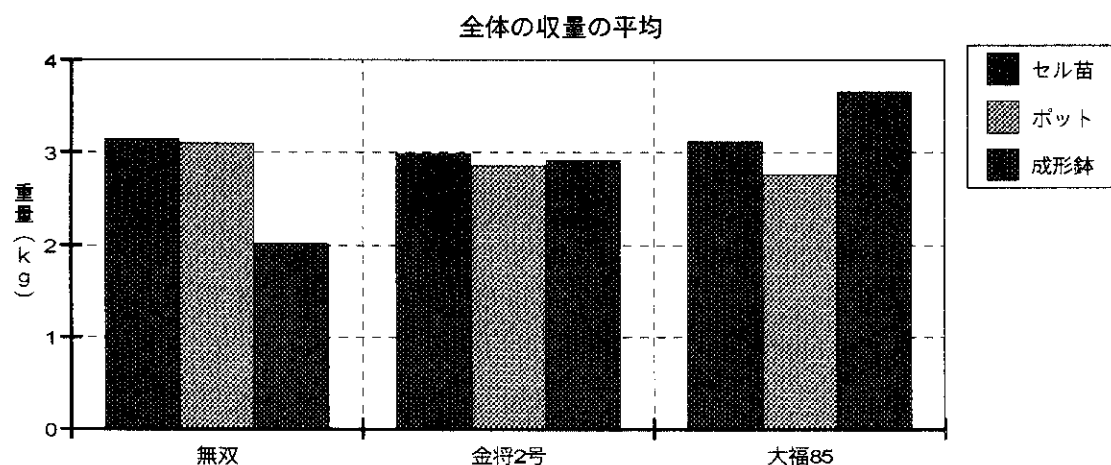


図4-11 無双区, 金将2号区, 大福85区の平均重量

図4-10は、白菜の実験区（無双区，金将2号区，大福85区）中央15個分の収穫重量の平均値をグラフ化したものである。

図4-11は、白菜の各実験区（無双区，金将2号区，大福85区）全体の収穫重量の平均値をグラフ化したものである。

無双・金将2号においてはべト病が発生したものの、セル苗区の収穫重量が大きいことが示された。べト病による被害の発生により栽培試験に影響したものと考えられ、考察から除外すべきであると判断した。

4.3.2 ブロッコリー栽培結果

霜の害を受けなかった直緑について報告する。

図4-12は、ブロッコリーの緑苗（早生種）を栽培し、2000年1月17日まで収穫した重量の平均値（セル苗区：70株，ポリ鉢区：65株，成型鉢区：70株）をグラフに

た。また、この栽培圃場は根こぶ病の発生場所である。しかし、成型鉢による栽培では病害が少なく 3L 規格が多く採れたことは、根こぶ病害を抑制したかあるいは根こぶ病を克服する量の肥料が供給できたかのいずれかであり、新たな成型鉢の付加価値であると思われる。

4. 3. 3 トマト栽培結果

1999 年 10 月 10 日～21 日に収穫したトマトの収量結果を試験区と共にグラフにした。

生重量：	ロマノVF化学肥料区	：	11.2 (kg) /160m ²	：	70 kg/10a
	ロマノVF成型鉢区	：	5.0 (kg) /160m ²	：	31.25 kg/10a
	ロマノVF N化学肥料区	：	5.8 (kg) /160m ²	：	36.25 kg/10a
	ロマノVF N成型鉢区	：	5.9 (kg) /160m ²	：	36.88 kg/10a

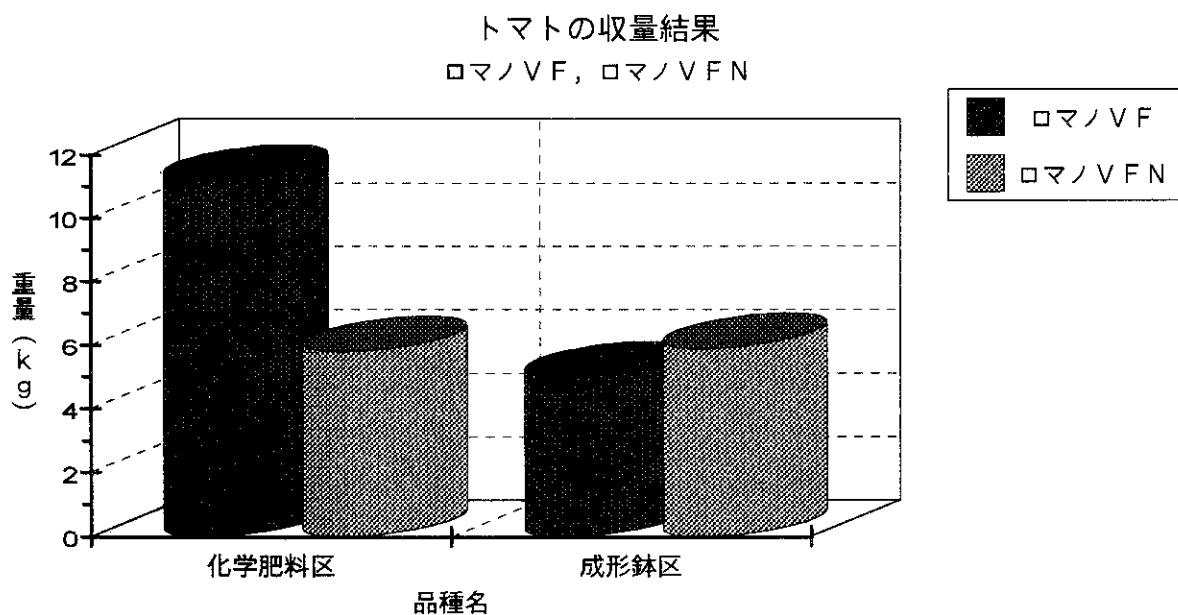


図 4-13 トマトの収量

今回の実験では、べト病及び灰色カビ病の被害に遭い最後まで収穫できなかった。しかし、窒素耐性のあるVF Nでは成型鉢の利用が若干の増収を示している。このことは、根圏域への肥料成分の調整は各種作物により細かく調整しなければならないことを示している。

4. 4 考察

4. 4. 1 白菜栽培結果

(1) 無双

セル苗区では、1999 年 9 月 3 日に播種し、9 月 25 日に畑に定植した。定植から収穫

まで全体の約 20%の個体にベト病の被害が見られ、また、分蘖（株が2つ3つと分かれること）により、約7%が販売できなかった。

ポリ鉢区は、1999年9月3日に播種し、9月25日に畑に定植した。定植から収穫までに約40%の個体にベト病の被害が見られ、また、分蘖により約12%が販売できなかった。

成型鉢区は、1999年9月3日に播種し、9月26日に畑に定植した。定植から収穫までに約30%の個体にベト病の被害が見られ、また、分蘖により、約11%が販売できなかった。

(2) 金将2号

セル苗区では、1999年9月3日に播種し、9月25日に畑に定植した。定植から収穫まで全体の約15%の個体に病気の被害が見られ、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約8%が販売できなかった。

ポリ鉢区では、1999年9月3日に播種し、9月25日に畑に定植した。定植から収穫まで全体の約15%の個体に病気の被害が見られ、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約7%販売できなかった。

成型鉢区では、1999年9月3日に播種し、9月26日に畑に定植した。定植から収穫まで全体の約10%の個体に病気の被害が見られ、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約6%販売できなかった。

(3) 大福85

セル苗区では、1999年9月3日に播種し、9月25日に畑に定植した。定植から収穫まで全く病気の被害が見られず、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約13%販売できなかった。

ポリ鉢区では、1999年9月3日に播種し、9月25日に畑に定植した。定植から収穫まで全く病気の被害が見られず、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約8%販売できなかった。

成型鉢区では、1999年9月3日に播種し、9月26日に畑に定植した。定植から収穫まで全く病気の被害が見られず、表面に病気が発病したり、分蘖したりして、約4%販売できなかった。

収穫まで病気の元と推定される場所から帯状に広がっていった病原から一番遠く離れていたため、被害を免れる事が出来た。この区画が、結果として、考えられたセル苗、ポリ鉢、成型鉢の性質を示していた。病気の被害が全くなかったことから大成功したことが言えた。

(4) セル苗区

セル苗区の特徴としては、図4-4~9のグラフから、生育むら(重量差)が大きいことがいえる。その理由として、定植時に、セル苗を定植するため、芯が食害にあい苗の分蘖(株が2つ3つと分かれること)を生じた事と、苗が幼く不良苗を識別する事が困難であるためだと考えられる。また、品種間によらず結果から、セル苗定植法の特徴(成育にばらつきが生じる)を示していたことが考えられる。

(5) ポリ鉢区

ポリ鉢区の特徴としては、図4-4~9のグラフから、生育むらが少ない事がいえる。しかし、図4-10~11より、ポリ鉢区では、セル苗を鉢上げする時に成型鉢区と鉢上げの条件を一緒にするために、肥料成分の少ない赤土で鉢上げした。そのため、鉢上げ後の2週間の栽培で肥切れを起こし、成型鉢区と比べサイズはほぼ同程度であったが、葉の色が明らかに薄い緑をしていた。初期生育時に肥料成分が不足すると収穫までの生育に影響を受けるため、白菜の収量は、大福85区で比較すると、セル苗区と比べ約0.9倍となったと考えられる。

また定植に要した時間は、1人換算の労働時間で約12時間/10aであった。この作業時間は慣行法に比べ、約1.3倍の時間を有した。

(6) 成型鉢区

成型鉢区の特徴としては、図4-4~9より生育むらが少ない事が言える。また、セル苗を鉢上げした後の2週間の栽培では、葉の色が濃い緑色となり初期生育時の肥料成分が十分であったことが言える。定植後、生育前期はセル苗区と比べ生育に勢いがなかったが、生育後期には生長が追い付いたため、成型鉢の成分が白菜の生長にあわせ徐々に使われたといえ、肥料切れする事なく生長したと考えられる。この事から、成型鉢は遅効性肥料だったと言える。

白菜の収量は、大福85区で比較すると、セル苗区と比べ約1.3倍となった。

また定植に要した時間は、1人換算の労働時間で約15時間/10aであった。この作業時間の長さは、慣行法に比べ約1.6倍の時間を有した。白菜の収益を考えると、むらがなく、安定した製品を作れることから、農業への導入は採算性があると考えられる。

4.4.2 ブロッコリー栽培

(1) 直緑

セル苗区では、1999年9月3日に播種し9月21日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られたが、生育後期まで順調に生育した。

ポリ鉢区は、1999年9月3日に播種し9月27日に定植した。定植以降草丈にばらつ

きは見られず、生育後期まで順調に生育した。

成型鉢区では、1999年9月3日に播種し9月28日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られず、生育後期まで順調に生育した。

成型鉢補正区は、1999年9月3日に播種し10月10日に定植した。セル苗の状態で約1ヵ月間放置した苗(栄養不足で葉が赤っぽくなった苗(この苗は、小さいなどの不良苗である))を使用した。定植以降草丈にばらつきが見られず、生育後期まで順調に生育した。

(2) ビックドーム

セル苗区では、1999年9月3日に播種し9月21日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られたが、生育後期まで順調に生育した。

ポリ鉢区は、1999年9月3日に播種し9月27日に定植した。定植以降草丈にばらつきは見られず、生育後期まで順調に生育した。

成型鉢区では、1999年9月3日に播種し9月28日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られず、生育後期まで順調に生育した。

成型鉢補正区は、1999年9月3日に播種し10月10日に定植した。セル苗の状態で約1ヵ月間放置した苗(栄養不足で葉が赤っぽくなった苗(この苗は、小さいなどの不良苗である))を使用した。定植以降草丈にばらつきが見られず、生育後期まで順調に生育した。

(3) 緑苗

セル苗区では、1999年9月3日に播種し9月21日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られたが、収穫まで順調に生育した。

ポリ鉢区は、1999年9月3日に播種し9月27日に定植した。定植以降草丈にばらつきは見られず、収穫まで順調に生育した。

成型鉢区では、1999年9月3日に播種し9月28日に定植した。定植以降草丈にばらつきが見られず、収穫まで順調に生育した。

成型鉢補正区は、1999年9月3日に播種し10月10日に定植した。セル苗の状態で約1ヶ月間放置した苗(栄養不足で葉が赤っぽくなった苗(この苗は、小さいなどの不良苗である))を使用した。定植以降草丈にばらつきが見られず、生育後期まで順調に生育した。

また、直緑、ビックドームより早生種であるため、早く収穫できた。

(4) セル苗区

定植後生育むらがあり、初期生育時に関しては成型鉢区より生長が良い傾向にあると

考えられたが、実際、成型鉢区より生育は劣った。しかし、ポリ鉢区と生育は変わらなかった。これは、セル苗区の生長が悪かったのではなく、成型鉢区の生育が良かったためと考えられる。

(5) ポット区

ポット区の苗は、定植後の生育にむらもなく順調に生育した。ポットのもつ利点として、ある程度大きくして植えるので、差がなくなったものと考えられる。また、定植に要した時間は、1人換算の労働時間で約12時間/10aであった。この作業時間は慣行法に比べ、約1.3倍の時間を有した。

(6) 成型鉢区

成型鉢区の苗は、ポリ鉢区と同様にセル苗を使用した。鉢上げして2週間の生育は、ポリ鉢より良く、より緑色が強く、草丈も1.5倍位でしっかりした物となった。定植した後は、栽培後期まで植物体全体の生育は順調だった。この理由としては、雨が定期的に降ったことから、溶けだした成型鉢の肥料成分を成長にすぐに使えたためと考えられる。また、定植に要した時間は、1人換算の労働時間で約15時間/10aであった。この作業時間は慣行法に比べ、約1.6倍の時間を有した。緑苗の収量や収益性を考えるとむらがなく、安定した製品を作れることから、今のところは農業に導入しても採算があるのではないかと考えられる。

(7) 成型鉢補正区

成型鉢補正区の苗は不良苗（他の区画で使った苗の余り）を使用したため、鉢上げ前まで良い結果になるとは思われなかった。しかし、これに反して十分に生長し、定植前までには、定植前のポリ鉢、成型鉢の苗より大きい物となった(ポリ鉢の約2倍)定植後も生育前期から生育後期まで順調に生育を続け、セル苗区に生長が追い付いてしまった。これは、成型鉢に不足している速効性をもたせるために入れられている化学肥料の効果で、より安定した生育をみせたものと考えられる。

また、定植に要した時間は、1人換算の労働時間で約15時間/10aであった。この作業時間は慣行法に比べ、約1.6倍の時間を有した。緑苗の収量や作業効率を考えるとむらがなく安定した製品を作れることから、農業の導入に対して採算があうのではないかと考えられる。

4. 4. 3 トマト栽培結果

(1) ロマノVF

7月20日に播種をし、8月13、14日に畑に定植をした。化学肥料区では、畑に定植

してから収穫まで順調に生育した。成型鉢区では、定植後 1 ヶ月間、茎長約 10cm の生長しか見られなかった。その後、急激な生長があり、収穫時には化学肥料区と代わらない植物体となった。

また、成型鉢が豚ふん臭に似た臭いがしたため、根を確認したところ、黒みがかっていた。根の根域がポットに制限されていたため、成型鉢の材料(牛糞, 汚泥, etc)が発酵して生育が阻害されたと考えられた。しかし、最終的に草丈がほぼ同程度の長さになった。

化学肥料区の収益性を 1 とすると、成型鉢区では約 0.5 であった。この数値はかなり差があり、最初、前作の肥料成分が残っていたためと思われたが、成型鉢が遅効性肥料だったことから、この差はこれから埋まったものと考えた。

(2) ロマノ VFN

7 月 20 日に播種をし、8 月 13, 14 日に畑に定植をした。化学肥料区では、畑に定植してから収穫まで順調に生育した。成型鉢区では、定植後 1 ヶ月間は、初期生育時からの生育が 10cm ほどの生長しか見られなかったが、その後急速な生育を見せた。

成型鉢区のトマトにおいて、鉢上げしてからの初期生育が非常に悪かった。畑に定植した後の成長にも影響し、一ヶ月間僅かな成長しか見られなかった。しかし、その後飛躍的な成長を見せ、収穫した日までには順調に成長した。化学肥料区に見た目追いついてしまった。このことから、成型鉢は、遅効性ということが言える。果実の収量に関しては、これから多くの収穫が期待されていたときに、イタリアの気候(乾燥気候)に適したトマトであったため、雨が三日続いただけでベト病にかかり、更に地ばえであったため、数日の内に全滅してしまった。

(3) 化学肥料区

化学肥料区の苗は、慣行法で使われているセル苗の状態而定植したため定植の仕事は、1 人換算で 9 時間で終わった。これから収穫が忙しくなるときに 3 日間雨が降り、イタリアの気候に適したトマトだったのでベト病耐性が無く、ベト病にかかり収穫できなくなってしまった。これから成型鉢との比較が期待されたが残念な結果となってしまった。

(4) 成型鉢区

成型鉢区の苗は、化学肥料区と同様にセル苗を使用した。鉢上げして 2 週間後に畑に定植した。定植に要した時間は、1 人換算の労働時間は、15 時間/10a であった。この作業時間は慣行法に比べ、約 1.6 倍の時間を有した。

4.5 まとめ

汚泥の有効利用と農業の合理化、環境保全の面から成型鉢を農業生産に利用した。その結果、栽培方法として、従来から使われているセル苗より生育むらが少ないという利点の他に、肥料を節約できる可能性が示された。また、ブロッコリーの栽培では、根こぶ病の発生により収穫量が上がらない畑においても、2L,3L 規格の製品が得られた。これは、根圏域に肥料成分を局所に施肥することで土壤病害の抑制あるいは病害の軽減効果が得られるものと考えられた。今後は、肥料供給量の調節、成型鉢の強度、形状等を工夫し、現状の農業形態に合わせた適用範囲の拡大を図ることが重要である。

また、作業効率は、大苗定植のためポリ鉢苗と同程度の作業時間がかかるが、ポリ鉢の回収や廃棄の手間がかからないことや、育苗時の灌水量がポリ鉢の半分程度ですむことが観察された。

単純にセル苗区(慣行法)と比較すると、収量及び収入も多く安定しており、農業に導入しても採算が合うと思われる。実際に、成型鉢、成型補正鉢を農業に導入する場合、作業効率を考えると機械を使った作業が主眼となる。また、製造コストを低減化する意味では大量に生産され、地域による肥料バランスの差が少ない生産物に用途が見込まれる。たとえば、今回のような白菜、加工用トマト、ブロッコリーやカリフラワー、地這いメロン、カボチャ等であろう。一般に肥料要求性が少ないとされる根菜類、芋類、落花生なども一度は試しておきたいと考えている。

4.6 課題

専門農家において鉢に対し指摘された課題を以下に記す。

- ・ナーサリーにおいての運搬容器の形状との整合性をとる。
- ・鉢の下部にスリットを入れ根の張り出しを良くする
- ・生育初期においての肥料の不足分を配合する。
- ・機械定植に適合する形状の鉢とする。
- ・鉢の底を厚くし、生育後期での肥料の溶出量を調節する。
- ・春・夏・秋作の栽培ステージに合わせた肥料の溶出パターンが得られるようにする。

成型利用に対し指摘された課題を以下に記す。

- ・果樹、茶園用の杭状肥料（強度を上げ、エアースプリングで打ち込めるようにする）
- ・セルトレイのような連結型のブロック状育苗床
- ・堆肥を線状に加工し交差させることで多孔質を形成した育苗床
- ・トマトやキュウリ、カボチャ、メロンのような長期栽培作物用の大鉢
- ・高速道路等の法面緑化用の種入りタイル
- ・種子へのコート（種を堆肥で包んだボールのような物）
- ・コガネムシなど糞を食する虫の誘因殺虫剤への適用

第5章 建設材料など他の用途への浄化槽汚泥等の再生技術開発に関する研究

5.1 はじめに

5.1.1 本研究の背景

最近、浄化槽による排水の高度処理が推進されている一方で、排水処理に伴って発生する余剰汚泥の量が増加し、これが新たな環境破壊を引き起こすおそれが出ている。有害物質を環境中に放出しない、あるいは有用物質を廃棄物としない、いわゆるゼロエミッションの要求はこの余剰汚泥の処理の分野においても今後益々厳しくなると考えられる。余剰汚泥の有効利用法の開発は緊急を要する課題である。

活性汚泥に生息する微生物のなかには、排水に含まれる有機物を資化してポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) またはグリコーゲンを生合成し、炭素・エネルギー貯蔵物質として菌体内に蓄積するものがあることは良く知られている。これら貯蔵物質のうち、PHA はプラスチックとしての性質を持つポリエステルであり、しかも種々の環境中に生息する微生物により容易に水と炭酸ガスにまで分解されるので、非生分解性の合成プラスチックに代替できる生分解性プラスチック材料として期待される。これらのプラスチックは、排水に含まれる有機物から生合成されるものであり、基本的にはその合成に新たな原料を必要としない。もし、排水に含まれる有機物、あるいは排水処理過程で生じる余剰汚泥を利用して生分解性プラスチックを効率よく生産することができるならば、余剰汚泥の減量を可能にするのは勿論のこと、地球温暖化につながる二酸化炭素の固定化、さらには石油資源の節約とプラスチック素材の供給に貢献できる。

排水に含まれる有機物を PHA に変換する微生物が汚泥中に存在することは、浄化槽に集められた排水に含まれる有機物を混合微生物により資化、あるいは最終的に二酸化炭素にまで分解してしまうのではなくて、PHA という有機物に変換、回収できることの可能性を示唆している。排水中の有機物を再生可能な資源としてとらえ、これから生分解性プラスチック PHA を生産するプロセスは、循環型の持続可能 (サステイナブル) なプラスチック材料系の構築に貢献できる可能性を持つ。

一方、現在の汚泥処理では、大量の余剰汚泥が焼却により処分されている。焼却処分には燃料を必要とすること、有害物質や焼却灰が発生することなどの問題点がある。汚泥を無機物にまで完全処理せずに適度に炭化・脱水した状態に止め、燃結させることにより新たな多孔質有機炭素材料を創製できる可能性がある。

5.1.2 本研究の目的

本研究の目的は、浄化槽排水処理過程で発生する汚泥からの (a) 生分解性プラスチック生産と (b) 新規多孔質有機炭素材料の創製、のための基盤技術を開発することである。

微生物による PHA の生産では、微生物の増殖を制限する条件を設定しないと高効率での

PHA 生産を達成できないことが多い。現在、高効率 PHA 生産菌として実用化されている水素細菌 *Alcaligenes eutrophus* の場合には、増殖を制限するために窒素源を制限して培養を行っている。しかし、浄化槽汚泥から PHA を生産しようとする場合、窒素源化合物を除去することは非現実的である。一方、窒素源存在下で *Alcaligenes latus* は増殖しながら PHA を高効率で産生することが知られている。そこで本研究では *A. latus* 株を使用して、浄化槽汚泥からの生分解性プラスチックの直接生産を検討した。

また、汚泥の炭化処理による多孔質有機炭素材料の製造では、乾燥と炭化の進行に伴う有機物の化学変化過程を追跡し、燃結条件と最終生成物の構造及び物性の関係を明らかにする必要がある。有機物の炭化過程を追跡する方法として非破壊分析と破壊分析の二通りが考えられる。本研究では、非破壊分析法である固体高分解能 ^{13}C 核磁気共鳴分光法 (NMR) により、汚泥の乾燥、炭化の過程で起こる化学反応を追跡した。(実験結果及び考察は、第 1 章に示した。)

5. 2 浄化槽汚泥からの生分解性プラスチックの直接合成

5. 2. 1 実験

浄化槽汚泥試料として、(財)日本環境整備教育センターより提供された合併処理浄化槽の汚泥濃縮槽底部堆積汚泥を使用した。トミー精工(株)製超音波細胞破壊機により汚泥の超音波処理を行った。汚泥試料中の水溶性有機物の全濃度 (TOC) を全有機体炭素系 (島津 TOC-5000A) により測定した。TOC 値は全て滅菌処理前に測定した。

常法により滅菌処理した汚泥試料に、凍結保存状態から解凍して得た *A. latus* 菌体 (ATCC29713) を接種し、坂口フラスコ (500mL) による振とう培養を、設定温度 30°C、初期 pH7.0 にて 48 時間行った。培養中の pH 値の調節はしなかった。培養終了後、菌体を遠心分離、凍結乾燥したうえでクロロホルムによるソックスレー抽出により PHA を採取した。得られた PHA の構造は 270MHz ^1H -NMR スペクトル (日本電子(株)製 JEOL GSX270) により解析した。PHA の熱的性質はセイコー電子(株)製の示差走査熱量計 (DSC) により調べた。

5. 2. 2 結果と考察

培養結果を表 5-1 に示す。まず、汚泥の液体部分に含まれる水溶性有機物からの PHA の合成を調べた。汚泥を濾紙にて濾過して得た液体 (TOC=248ppm) に *A. latus* を植菌し、培養を行った結果 (表 5-1 の培養 1)、生成した PHA 量は痕跡量であった。

痕跡量の PHA しか得られない原因として、汚泥液が PHA を産生させるための培地としては不適當であることが考えられる。そこで、同じ濾液にスクロース (15g/L) を加え、同様の培養を行った結果 (表 5-1 の培養 2)、1.7g/L の PHA が得られた。

標準培地中、スクロース (15g/L) を唯一炭素源として同様の培養を行った結果も表 1

に比較例として示してある。比較例では 3.7g/L の PHA が生成した。汚泥濾液を培地とし、スクロース炭素源とする培養では、PHA の収量は比較例に比べて半分程度と低いものの汚泥濾液の場合と比べると著しく大量の PHA が生成している。したがって、汚泥濾液が培地として特に不適當とは言えない。

表 5-1 *A. latus* による汚泥からのポリ（ヒドロキシアルカン酸）（PHA）の産生

Run (実験日)	炭素源	培地	TOC(ppm)		粗製 PHA の 収量 (mg/L)	PHA の 構造
			未処 理	超音波処 理後		
培養 1 (99/7/27)	汚泥（濾液）	汚泥 濾液	248	...	痕跡	...
培養 2 (99/7/27)	汚泥（濾液） + スクロース	汚泥 濾液	248 + 7,400	...	1,700	P(3HB)
培養 3 (99/7/27)	汚泥+ スクロース (15g/L)	汚泥	248 + 7,400	...	回収不能	...
培養 4 (99/8/31)	汚泥	汚泥	271	...	33	P(3HB-co- 58%3HV)
培養 5 (99/10/17)	汚泥（1時間 超音波処理）	汚泥	178	1,214	62	P(3HB-co- 48%3HV)
培養 6 (99/11/18)	汚泥（1時間 超音波処理 +遠心分離）	汚泥	388	967	2	P(3HB-co- 21%3HV)
比較例 (99/7/27)	スクロース (15g/L)	標準	7,400	...	3,700	P(3HB)

標準培地：無機塩水溶液 [蒸留水 1 L 中： $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (8.6g)； KH_2PO_4 (1.5g)； $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (1.0g)； $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.2g)；クエン酸鉄（III）アンモニウム（60mg）；微量の B、Co、Zn、Mo、Ni、Cu 無機塩を含む]

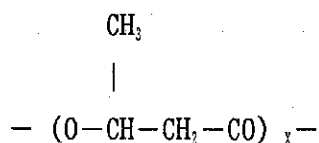
汚泥濾液の TOC 値は 100~400ppm 程度であり、PHA 生産実験で通常使用している有機物炭素源の濃度（数千 ppm 以上）に比べて 1~2 けた以上も小さい。すなわち、汚泥濾液から痕跡量の PHA しか生産されなかった理由は PHA に変換可能な有機物濃度が低すぎたことであると推定される。昨年度の研究によれば、TOC 値約 100ppm の原汚泥を水流アスピレータによる減圧下で 10 倍まで濃縮しても TOC 値は 10 倍にはならず、期待値の半分程度ま

でにかならなかった。したがって汚泥液に含まれる水溶性有機物のかなりの部分が減圧濃縮操作の過程で除去されるもの、例えば低級アルコール、低級脂肪酸などの揮発性有機物であると推定され、有機性炭素源を確保するためには減圧濃縮は好ましい操作ではない。

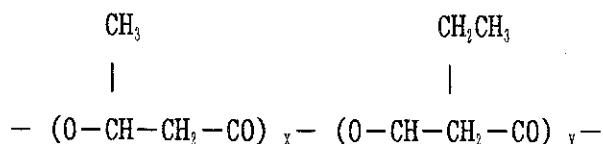
培養 3 は汚泥にスクロース (15g/L) を加えて培養を行った結果であるが固形浮遊物に吸着したためか PHA は回収できなかった。培養 4 では汚泥を何も処理することなしにそのまま炭素源/培地として使用して培養したものであり、培養 3 とは異なり PHA を採取することができた。培養 3 と 4 とでは汚泥が異なるので結果を単純に比較することはできない。

培養 5 では、汚泥中の水溶性有機物の濃度を高める試みとして汚泥を超音波処理した上で培養を行った。汚泥の処理前の TOC 値 178ppm は超音波処理により 1214ppm と約 7 倍に増加し、その結果 PHA の収量も増加した。培養 3 において、スクロースの添加により TOC 値が高いにもかかわらず、PHA を回収できなかったことから、固形物を除去すれば PHA の収量が増すと期待し、培養 6 では汚泥を超音波処理後、遠心分離により固形物を除去した。汚泥の処理前の TOC 値 388ppm は超音波処理により 967ppm に増加した。しかし、PHA の収率は培養 4 及び 5 の結果と比べると僅少であった。培養 4、5 及び 6 では原汚泥が異なるので厳密な比較はできないが、超音波処理は有効であると考えられる。

培養 2、4、5、6 にて生成した PHA の構造を ¹H-NMR スペクトルから決定した。培養 2 で得られた PHA はポリ (3-ヒドロキシ酪酸)、P (3HB)、



であることが分かった。スクロースを唯一炭素源とする比較例の培養でも P (3HB) が生成していることから分かるように、培養 2 で生成する PHA は汚泥に追加したスクロースから生成したものである。これに対して培養 4、5、6 ではポリ (3-ヒドロキシ酪酸-co-3-ヒドロキシ吉草酸)、P (3HB-co-3HV)、



が生成した。図 5-1 には培養 6 で得られた P (3HB-co-3HV) の ¹H-NMR スペクトルを示した。

培養に使用した *A. latus* は、グルコースやスクロースの様な水溶性の単糖、オリゴ糖やスターチからは P (3HB) のみを生合成するが、表 5-2 に示すように水溶性の直鎖脂肪

酸やアミノ酸からは P (3HB-co-3HV) を産生することがわかっている。したがって、培養 4、5、6 にて生成した P (3HB-co-3HV) は脂肪酸、アミノ酸などの糖以外の有機化合物に由来するものと推定される。注意すべきことは、¹H-NMR スペクトルでは P (3HB) の信号と P (3HB-co-3HV) 由来の 3HB 単位の信号を識別できないことである。したがって、培養 4、5、6 では、汚泥に含まれる糖から合成された P (3HB) と糖以外の有機化合物から合成された P (3HB-co-3HV) の混合物となっている可能性がある。

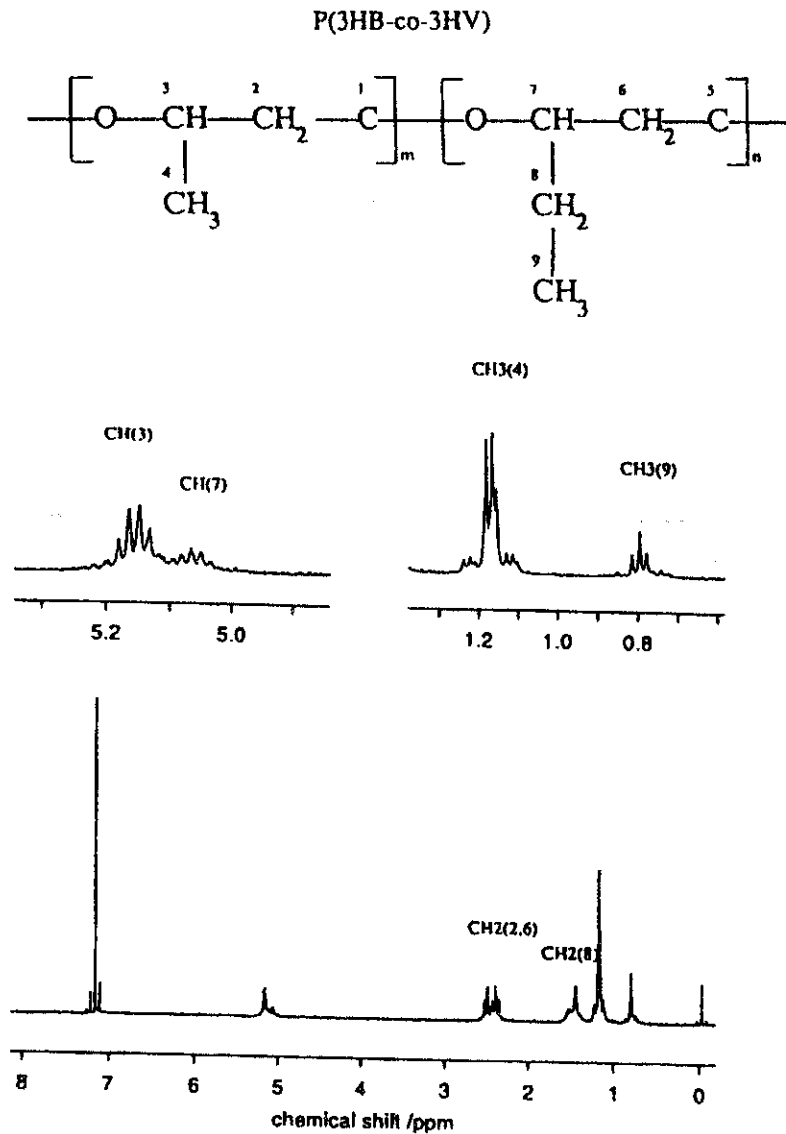


図 5-1 培養 6 で得られた P (3HB-co-3HV) の ¹H-NMR スペクトル

表5-2 *A. latus*による種々の炭素源からのポリ(ヒドロキシアルカン酸)
(PHA)の産生

炭素源化合物(炭素原子数C)	PHA
酢酸(C2)	P(3HB-co-3mol%3HV)
プロピオン酸(C3)	P(3HB-co-19mol%3HV)
酪酸(C4)	P(3HB-co-9mol%3HV)
吉草酸(C5)	P(3HB-co-51mol%3HV)
L-アラニン(C3)	P(3HB-co-2mol%3HV)
DL-α-アミノ酪酸(C4)	P(3HB-co-22mol%3HV)
DL-ノルバリン(C5)	P(3HB)
L-ノルロイシン(C6)	P(3HB-co-22mol%3HV)

培養4より得られたP(3HB-co-58mol%3HV)のDSC曲線を図5-2に示した。融点とガラス転移点はそれぞれ84.6°Cと-3.7°Cであり、P(3HB)のそれぞれ約170°Cと0°Cに比べて大きく変化している。

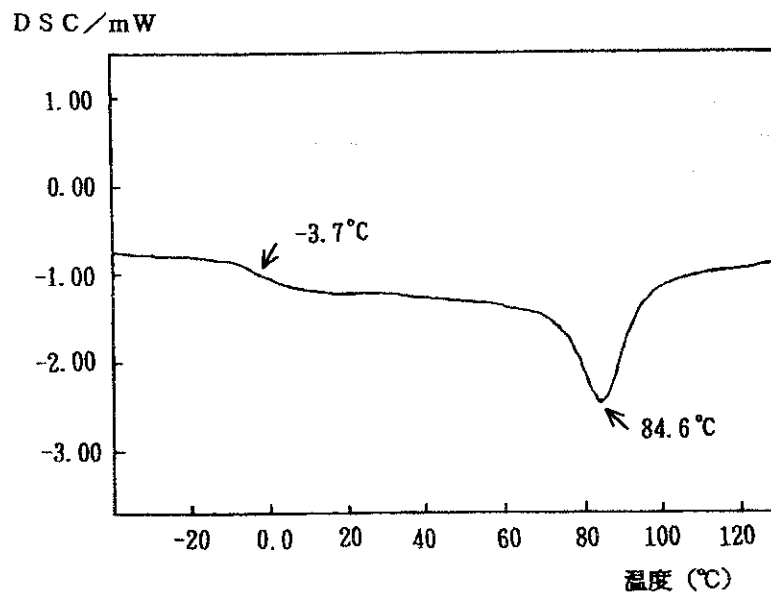


図5-2 培養4より得られたP(3HB-co-58mol%3HV)のDSC曲線

5.3 まとめ

水素細菌 *A. latus* の培養による、浄化槽汚泥に含まれる炭素源からの生分解性プラス